

⑫ Int. Cl.⁵G 05 B 13/02
G 06 F 9/44

識別記号

3 3 0 A
W

庁内整理番号

7740-3H
8724-5B

⑬ 公開 平成3年(1991)11月28日

審査請求 未請求 請求項の数 1 (全9頁)

⑭ 発明の名称 オートチューニングコントローラ

⑮ 特 願 平2-69279

⑯ 出 願 平2(1990)3月19日

⑰ 発 明 者 岩 崎 隆 至 兵庫県尼崎市塚口本町8丁目1番1号 三菱電機株式会社
産業システム研究所内

⑱ 出 願 人 三菱電機株式会社 東京都千代田区丸の内2丁目2番3号

⑲ 代 理 人 弁理士 田澤 博昭 外2名

明 細 書

1. 発明の名称

オートチューニングコントローラ

2. 特許請求の範囲

制御対象のモデルと、上記モデルを制御するモデル補償器と、上記モデルから出力されるモデル制御量からモデル特徴量を抽出するモデル特徴量抽出部と、上記モデルと同じ構造のパラメータで上記制御対象を制御する補償器と、上記制御対象から出力される制御量から補償器特徴量を抽出する補償器特徴量抽出部と、上記モデル特徴量と上記補償器特徴量とを比較する特徴量比較部と、上記特徴量比較部の比較結果に基づいて推論を行い上記モデルの特性を変更する推論部と、上記推論部により変更されたモデルの特性に応じて上記モデル補償器及び上記補償器の特性を変更する補償器設計部とを備えたオートチューニングコントローラ。

3. 発明の詳細な説明

【産業上の利用分野】

この発明は特性の異なる複数の制御対象や、特性の変化する制御対象に対して、良好な制御を行うルールベース型のオートチューニングコントローラに関するものである。

【従来の技術】

第6図は例えば岩崎、森田共著「モデル分類型ファジィオートチューニングコントローラ」第32回自動制御連合講演会(1988)、第267,268頁に示された従来のルールベース型のオートチューニングコントローラの一例を示すブロック図であり、図において、1は制御対象、2は制御対象1を制御するためのオートチューニングコントローラ、11はオートチューニングコントローラ2に与えられる目標値、12はオートチューニングコントローラ2から制御対象1へ与えられる操作量、13は制御対象1の出力である制御量である。また、51、52、53はそれぞれオートチューニングコントローラ2の構成要素を示し、51は制御対象1をPI制御により閉ループ制御するための補償器としてのPI補償器、52は目標値11、操

作量 12、制御量 13 から制御対象 1 の応答の特徴量 14 を求める特徴量抽出部、53 はその特徴量 14 をもとにファジィ推論により P I 補償器 51 の P I パラメータの変更量 15 を求めるファジィ推論部である。

次に動作について説明する。

P I 補償器 51 は、目標値 11 と制御量 13 との誤差に応じて比例、積分 P I 演算を行い、その演算出力を制御対象 1 に操作量 12 として与える。通常の P I コントローラの場合は、上記 P I 演算を用いる P I パラメータを人が決定して制御するが、このルールベース型のオートチューニングコントローラ 2 では、特徴量抽出部 52 とファジィ推論部 53 とにより決定する。即ち、特徴量抽出部 52 は、目標値 11、操作量 12、制御量 13 から、目標値 11 のステップ変化に対する制御量 13 のオーバーシュート量や減衰比などの特徴量 14 を求める。ファジィ推論部 53 は、予め決定してあるルールに基づいて、特徴量 14 を入力として推論を行い、P I 補償器 51 の P I パラメータの

変更量 15 を求める。P I 補償器 51 はファジィ推論部 53 からの上記変更量 15 により、P I パラメータを修正して P I 制御を行う。

以上のような推論を何度か繰返すことにより、望ましい応答を実現する P I パラメータが得られ、良好な P I 制御が実現できる。

【発明が解決しようとする課題】

従来のルールベース型のオートチューニングコントローラは以上のように構成されているので、P I D (比例、積分、微分) 制御や 2 自由度制御等を行うための複雑な補償器を採用する場合には、非常に複雑な特徴量 14 やファジィ推論部 53 のルールが必要で実現が困難であり、また、ステップ、ランプ等のような特徴量抽出のための目標値 11 の変化が多種存在する場合には、それぞれに対する特徴量 14 の定義、ルールの追加が必要で複雑になる等の課題があった。

この発明は上記のような課題を解消するためになされたもので、設計アルゴリズムが提案されている複雑な補償器を採用できると共に、多種の目

- 3 -

標値変化にも容易に対応できるルールベース型のオートチューニングコントローラを得ることを目的とする。

【課題を解決するための手段】

この発明に係るルールベース型のオートチューニングコントローラは、制御対象のモデルを内部に持ち、このモデルと制御対象とを同じ構造・パラメータを有する補償器で制御し、両方の制御量の特徴量を比較し、その比較結果から推論を行って上記モデルを修正し、そのモデルをもとに上記各補償器を設計するようにしたものである。

【作 用】

この発明におけるルールベース型のオートチューニングコントローラは、モデルの特徴量と制御対象の特徴量とが一致するように、推論によってモデルのパラメータを修正していくことにより、良好な制御対象の閉ループ特性が達成される。

【実施例】

以下、この発明の一実施例を図について説明する。

- 4 -

第 1 図において、1 は制御対象、2 は制御対象 1 を制御するこの発明によるオートチューニングコントローラ、11 はオートチューニングコントローラ 2 に与えられる目標値、12 a はオートチューニングコントローラ 2 から制御対象 1 に与えられるプラント操作量、13 a は制御対象 1 の出力である制御量としてのプラント制御量、21 a は制御対象 1 の閉ループ系を構成するための補償器としてのプラント補償器で、伝達関数 $C(s)$ を有する。20 は制御対象 1 のモデルで、伝達関数 $P(s)$ を有する。21 b はモデル 20 の閉ループ系を構成するためのモデル補償器で、伝達関数 $G(s)$ を有する。12 b はモデル補償器 21 b からモデル 20 に与えられるモデル操作量、13 b はモデル 20 の出力であるモデル制御量、22 a はプラント制御量 13 a、目標値 11、プラント操作量 12 a から特徴量を求める補償器特徴量抽出部としてのプラント特徴量抽出部、14 a はプラント特徴量抽出部 22 a の出力であるプラント特徴量、22 b はモデル制御量 13 b、目標値 11、

- 5 -

- 14 -

- 6 -

モデル操作量 12 b から特徴量を求めるモデル特徴量抽出部、14 b はモデル特徴量抽出部 22 b の出力であるモデル特徴量、23 はプラント特徴量 14 a とモデル特徴量 14 b とを比較する特徴量比較部、24 は特徴量比較部 23 の出力をもとに推論を行い、モデル 20 の変更を行う推論部、25 は制御対象 1 及びモデル 20 に適したプラント補償器 21 a 及びモデル補償器 21 b を設計する補償器設計部である。

次に動作について説明する。

この実施例では、制御対象 1 が温度を一定に保つ炉であり、プラント操作量 12 a がヒータへの電流、プラント制御量 13 a が温度計出力である場合について述べる。通常、このような炉の特性は一次遅れと無駄時間とで近似できるので、制御対象 1 のモデル 20 の伝達関数は次式とする。

$$P_m(s) = \frac{K e^{-Ls}}{Ts+1} \quad \dots \dots (1)$$

ただし、 s : ラプラス演算子
 K : プラントゲイン
 T : 一次遅れ時定数
 L : 無駄時間
 K, T, L : モデルパラメータ

- 7 -

を示す。この第 2 図に示したステップ入力に対する各制御量 13 a、13 b の立上り時間(r_p, r_m)、オーバーシュートの大きさ(o_p, o_m)などが特徴量の例である。

特徴量比較部 23 では、各特徴量抽出部 22 a、22 b で得られたプラント特徴量 14 a とモデル特徴量 14 b との比を求める。即ち、立上り時間比 r_r 、オーバーシュート比 o_r を次式で求める。

$$r_r = r_p / r_m \quad \dots \dots (3)$$

$$o_r = o_p / o_m \quad \dots \dots (4)$$

推論部 24 では上記特徴量の比 (r_r, o_r など) をもとにモデルパラメータ (K, T, L) の修正分 $\Delta K, \Delta T, \Delta L$ を決定する。この結果、モデル 20 の新しいパラメータは、

$$K \leftarrow K + \Delta K, T \leftarrow T + \Delta T, L \leftarrow L + \Delta L \quad \dots \dots (5)$$

と修正される。推論部 24 のルールはファジィルールで記述され、例えば次のようなものである。

Rule1. r_r が 1 より大きく o_r が 1 よりかなり

小さければ、 ΔK はかなり小さくする。

Rule2. r_r がおよそ 1 であり、 o_r がおよそ 1

プラント補償器 21 a、モデル補償器 21 b は P I D 補償器とし、伝達関数は次式とする。

$$C(s) = K_p \left(\frac{1}{T_i s} + 1 + K_d s \right) \quad \dots \dots (2)$$

ただし、 K_p : 比例ゲイン
 T_i : 積分時定数
 K_d : 微分ゲイン
 K_p, T_i, K_d : 補償パラメータ

補償器設計部 25 は、(1) 式のモデルパラメータ K, T, L が与えられた場合、(2) 式の補償パラメータ K_p, T_i, K_d を決定する機能を持つ。この実施例で上記の決定を部分的モデルマッチング法(北森:制御対象の部分的知識に基づく制御系設計法、計測自動制御学会論文集 15-4 第 549 ~ 555 頁(1979))により実現した。

プラント特徴量抽出部 22 a、モデル特徴量抽出部 22 b は、目標値 11、操作量 12、制御量 13 から推論部 24 で用いるプラント特徴量 14 a、モデル特徴量 14 b を抽出する。第 2 図は、目標値 11 がステップ変化した場合のプラント制御量 13 a、モデル制御量 13 b の変化の様子の一例

- 8 -

であれば、 $\Delta K, \Delta T, \Delta L$ は 0 にする。

これらの各ルールの適合度を調べ、通常のファジィ推論の手法で各ルールの出力を合成することにより、上記修正分 $\Delta K, \Delta T, \Delta L$ の値は決定できる。

第 3 図はこの実施例の動作の流れを示すフローチャートである。ステップ S T 1 において、モデル 20 のモデルパラメータ (T, K, L) の初期値を作業者が決定する。これは制御対象 1 の特性の大まかな値であり、作業者がおおよそその値を知っている場合が多い。ステップ S T 2 では、モデル 20 に適した各補償器 21 a、21 b の補償パラメータ等を補償器設計部 25 により設計して決定する。次にステップ S T 3 では、上記決定されたプラント補償器 21 a で、制御対象 1 を制御し、その時の目標値 11、プラント操作量 12 a、プラント制御量 13 a からプラント特徴量抽出部 22 a によりプラント特徴量 14 a を抽出する。また、ステップ S T 4 では、上記決定されたモデル補償器 21 b で、モデル 20 を上記プラントを

制御した時と同じ目標値 11 に対してコントローラ上で数値計算して制御し、その時の目標値 11、モデル操作量 12b、モデル制御量 13b からモデル特徴量抽出部 22b によりモデル特徴量 14b を抽出する。そしてステップ ST5 で、両方の特徴量 14a、14b を特徴量比較部 23 により比較し、双方がほぼ一致していれば、制御対象 1 のモデル 20 と制御対象 1 とがほぼ一致しており、このとき、部分的モデルマッチング法による良好なプラント補償器 21a が設計できているため、ステップ ST6 でオートチューニングを終了する。

上記双方が一致していない場合には、ステップ ST7 で、推論部 24 においてファジィ推論を行い、モデル 20 を修正する。そののち、再びステップ ST2 に戻り各補償器 21a、21b を設計する。

以上の手順を繰返すことにより、制御対象のモデルパラメータを実際の制御対象 1 に近づけることができ、望ましいプラント補償器 21a を得ることができる。

- 11 -

用いることができる特徴量であれば、どのような特徴量を用いてもよい。

さらに、上記各実施例の特徴量比較部 23 では、各特徴量 14a、14b の比を用いたが、特徴量の差など、特徴量の比較ができ、推論部 24 で使用できる比較方法であればよい。

また、上記各実施例の推論部 24 では、ファジィルールによる推論によりモデル 20 のモデルパラメータを変更したが、その他、通常のルールなどモデル 20 のモデルパラメータ変更値が出力できるものであればよい。

さらに、上記各実施例は、温度制御系に関するもので、内部のモデルとして一次遅れと無駄時間で表わされるとしたが、制御対象 1 に応じて例えば 2 次遅れ系、内部にループを持つようなモータ制御系モデルなどを用いてもよい。また、ルールにより複数の異なる構造のモデルを切り換えて用いるようにすることもできる。

【発明の効果】

以上のように、この発明によれば、ルールベ-

なお、上記実施例では、補償器 21a、21b として PID 補償器を用いたが、第 4 図のように閉ループ系を構成しない、即ち、目標値 11 のみ与えられる前置補償器 21c、21d を用いる場合や、第 5 図のように目標値 11 と各制御量 13a、13b の情報を直接用いる 2 自由度補償器 21e、21f など、従来提案されている種々の補償器を用いた場合にも、この発明のオートチューニングコントローラ 2 は、補償器設計部 25 を変更して、前置補償器設計部 25a (第 4 図) 又は 2 自由度補償器設計部 25b (第 5 図) と成すことにより、ルールをほとんど変更することなしに実現できる。また、制御対象 1 のモデル 20 の固定のみが必要で、良好なコントローラの設計が必要ない場合にも、上記各実施例の補償器設計部 25、25a、25b を除くことにより実現できる。

また、上記各実施例の特徴量抽出部 22a、22b では、特徴量の例として立上がり時間 τ とオーバーシュート量 σ を用いたが、その他、振動減衰化、オフセット量、オーバーシュート時間など、推論に

- 12 -

ス型のオートチューニングコントローラにおいて、コントローラ内部に制御対象のモデルを設け、上記モデルと制御対象それぞれの特徴量を比較し、推論によってモデルを変更し、そのモデルに適した補償器を設計するように構成したので、様々な制御仕様に対応でき、従来のものより汎用的になり、コスト低減につながる等の効果がある。

4. 図面の簡単な説明

第 1 図はこの発明の一実施例によるオートチューニングコントローラを示すブロック図、第 2 図はモデルと制御対象の制御量および特徴量の応答例を示す特性図、第 3 図は動作の流れを示すフローチャート、第 4 図はこの発明の他の実施例によるオートチューニングコントローラを示すブロック図、第 5 図はこの発明のさらに他の実施例によるオートチューニングコントローラを示すブロック図、第 6 図は従来のオートチューニングコントローラを示すブロック図である。

1 は制御対象、2 はオートチューニングコントローラ、13a はプラント制御量、13b はモデ

ル制御量、14aはプラント特徴量、14bはモデル特徴量、20は制御対象のモデル、21aはプラント補償器、21bはモデル補償器、22aはプラント特徴量抽出部、22bはモデル特徴量抽出部、23は特徴量比較部、24は推論部、25は補償器設計部。

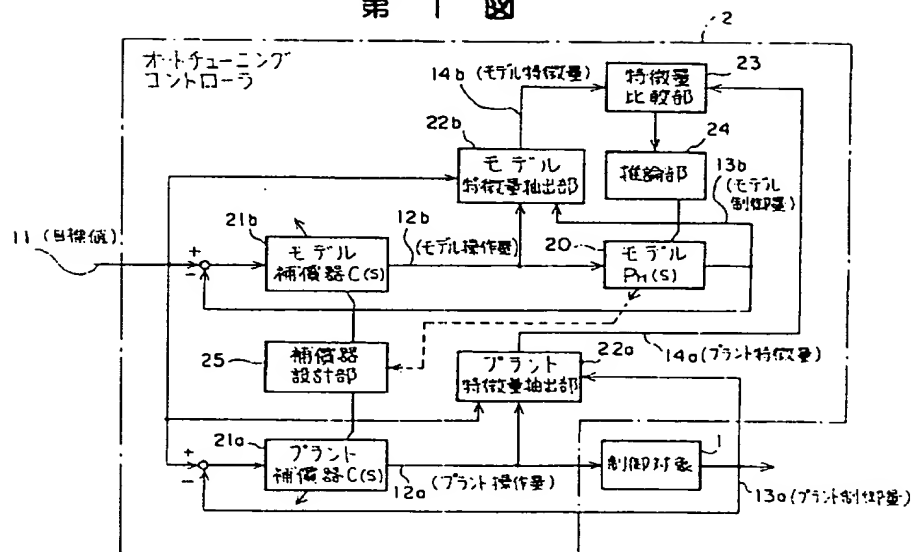
なお、図中、同一符号は同一、または相当部分を示す。

特 許 出 願 人 三 菱 電 機 株 式 有 限 公 司

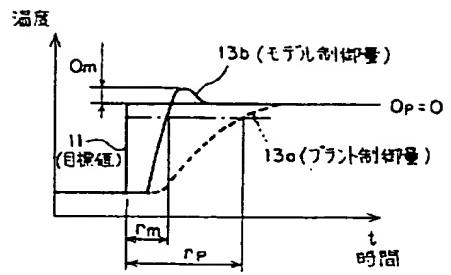
代理人 弁 理 士 田 澤 博 昭
(外 2 名)

- 15 -

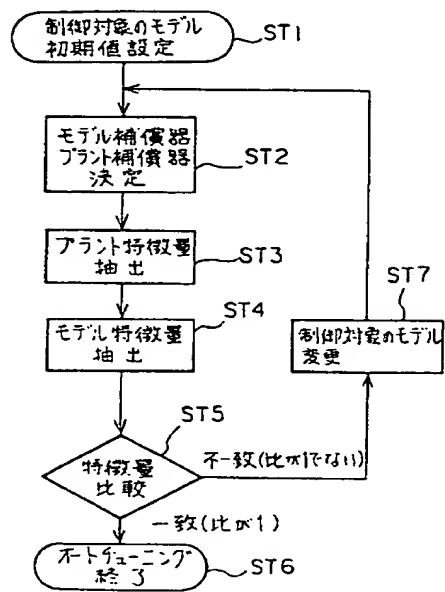
第 1 図



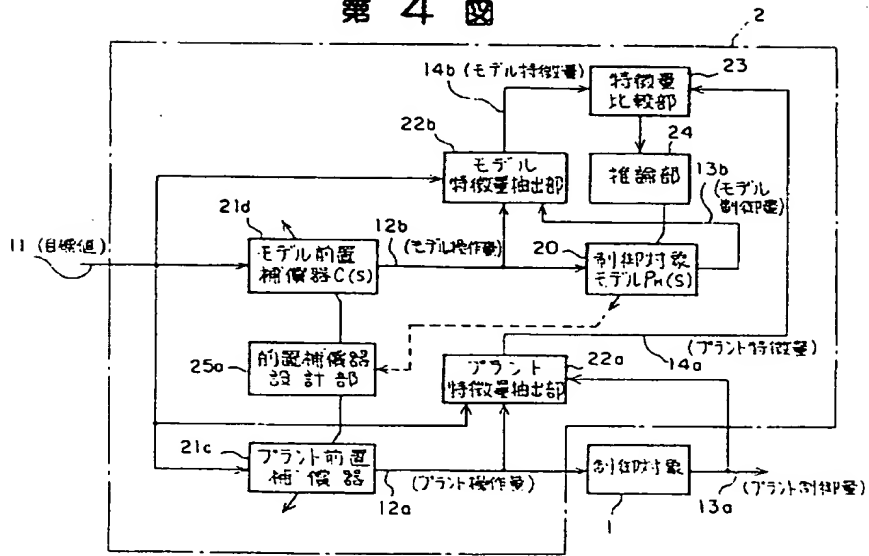
第 2 図



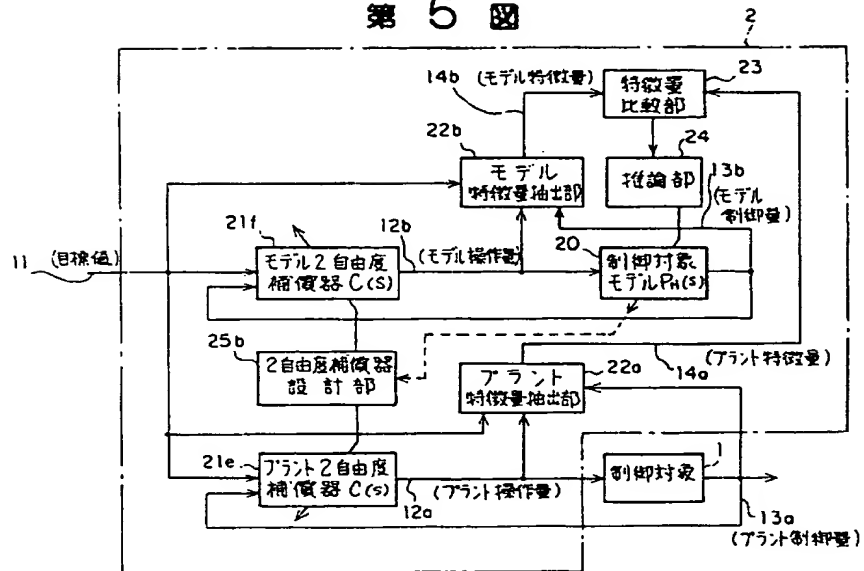
第 3 図



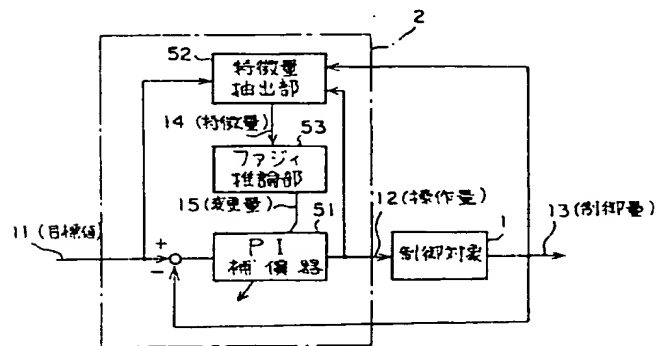
第 4 図



第 5 図



第 6 図



手続補正書(自発)

平成 年 2.8.20 日



特許庁長官殿

1. 事件の表示 特願平2-69279号

2. 発明の名称

オートチューニングコントローラ

3. 補正をする者

事件との関係 特許出願人
住 所 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号
名 称 (601)三菱電機株式会社
代表者 志 岐 守 哉

4. 代 理 人

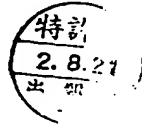
郵便番号 105
住 所 東京都港区西新橋1丁目4番10号
第3森ビル3階・5階
氏 名 (6647)弁理士 山 澤 博 昭
電話 03(591)5095番



5. 補正の対象

- (1) 明細書の特許請求の範囲の欄
(2) 明細書の発明の詳細な説明の欄
(3) 図 面

方式
審 査
(1)



- (8) 明細書第8頁第7行に「補償パラメータ」とあるのを「補償器パラメータ」と補正する。
(9) 明細書第8頁第10行～第11行に「この実施例で」とあるのを「この実施例では、」と補正する。
(10) 明細書第9頁第20行～第10頁第1行に「Rule2. . . 0にする。」とあるのを下記のとおりに補正する。

記

Rule2. r_r がおよそ1であり、 α_r がおよそ1
であれば、 ΔK 、 ΔT 、 ΔL は0にする。

}

RuleN.

- (11) 明細書第12頁第13行に「固定」とあるのを「同定」と補正する。
(12) 図面の第1図を別紙のとおりに補正する。

6. 補正の内容

- (1) 明細書の特許請求の範囲を別紙のとおりに補正する。
(2) 明細書第3頁第8行に「比例、積分PI演算」とあるのを「比例、積分(PI)演算」と補正する。
(3) 明細書第3頁第10行～第11行に「上記PI演算を」とあるのを「上記PI演算で」と補正する。
(4) 明細書第6頁第9行および第13行に「C(s)」とあるのをそれぞれ「C(s)」と補正する。
(5) 明細書第6頁第11行に「Pw(s)」とあるのを「Pw(s)」と補正する。
(6) 明細書第6頁第17行～第18行に「補償器特徴量抽出部」とあるのを「制御対象特徴量抽出部」と補正する。
(7) 明細書第7頁第7行に「制御対象1及びモデル20」とあるのを「モデル20」と補正する。

2

7. 添付書類の目録

- (1) 補正後の特許請求の範囲を記載した書面 1通
(2) 補正後の第1図を記載した書面 1通
以 上

補正後の特許請求の範囲

制御対象のモデルと、上記モデルを制御するモデル補償器と、上記モデルから出力されるモデル制御量からモデル特徴量を抽出するモデル特徴量抽出部と、上記モデル補償器と同じ構造であって同じパラメータで上記制御対象を制御する制御対象補償器と、上記制御対象から出力される制御量から制御対象特徴量を抽出する制御対象特徴量抽出部と、上記モデル特徴量と上記制御対象特徴量とを比較する特徴量比較部と、上記特徴量比較部の比較結果に基づいて推論を行い上記モデルを変更する推論部と、上記推論部により変更されたモデルに応じて上記モデル補償器及び上記制御対象補償器を変更する補償器設計部とを備えたオートチューニングコントローラ。

1

第 1 図

